

## 캡스톤디자인 산학연계팀 과제 최종보고서

|       |                              |               |                                                                          |           |               |
|-------|------------------------------|---------------|--------------------------------------------------------------------------|-----------|---------------|
| 과 제 명 | 인체 및 직물 부착형 소형 안테나 시스템 설계    |               |                                                                          |           |               |
| 과제기간  | 2017년 11월 1일 ~ 2017년 12월 31일 | 과 제 비         | 0 원                                                                      |           |               |
| 팀 명   | RFonSkin                     | 과 제 유 형       | <input checked="" type="checkbox"/> 일반 <input type="checkbox"/> 현장 실습 연계 |           |               |
| 지도 교수 | 소 속                          | 인천대학교 정보통신공학과 |                                                                          | 성 명       | 강 승 택         |
| 참여 학생 | 구분                           | 성명            | 학년                                                                       | 학번        | 소속학과          |
|       | 팀장                           | 박희준           | 석사과정<br>2차                                                               | 201721103 | 정보통신공학과       |
|       | 팀원                           | 박민우           | 4                                                                        | 201101740 | 정보통신공학과       |
|       |                              | 서예준           | 3                                                                        | 201401574 | 정보통신공학과       |
|       |                              | 정준호           | 3                                                                        | 201601744 | 정보통신공학과       |
|       |                              | 유병하           | 3                                                                        | 201601715 | 정보통신공학과       |
|       |                              | 장인호           | 3                                                                        | 201601735 | 정보통신공학과       |
| 참여 기업 | 기업명                          | 아이오티융복합연구소    | 담당자                                                                      | 성명        | 이 공           |
|       |                              |               |                                                                          | 연락처       | 010-7191-4882 |

본 보고서를 공학교육혁신센터 캡스톤디자인 산학연계팀 과제 최종보고서로 제출합니다.

【붙임 : 최종 결과보고서 1부】

2017 년 11월 30일

대표학생 : 박 희 준 (인)

인천대학교 공학교육혁신센터장 귀하

# 캡스톤디자인 산학연계팀 과제 최종 결과보고서

## I. 과제 개발의 목적 및 필요성

### 1. 목적 및 필요성

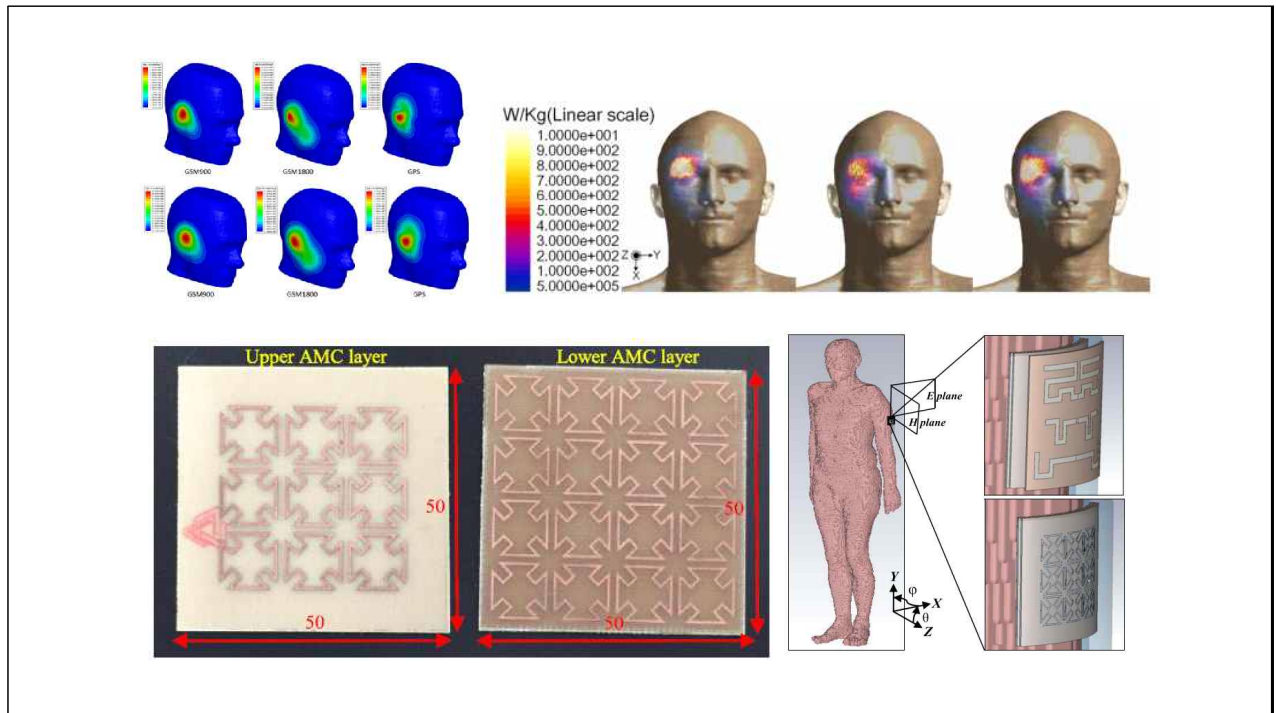
최근 초연결 사회에 대한 요구가 증대되면서 스마트 의류, 웨어러블 컴퓨터 등에 대한 다양한 시스템이 개발되고 있다. 이러한 IT 기술에 통신시스템은 불가결한 요소로써, 그 중 안테나 시스템은 상당히 중요한 역할을 하고 있으며 많은 연구를 필요로 한다. 또한 매우 빠른 속도로 통신 기술이 발달함에 따라 통신 기기의 소형화, 경량화 및 고성능화가 이루어지고 있다. 특히, 사물인터넷에 대한 기대감으로 이동통신 산업계에서는 가전기기는 물론 인체 자체를 통신용 플랫폼으로 활용하려는 계획을 가지고 있다. 인체 및 직물의 표면은 주로 곡선 형태이며, 불규칙한 형태를 띠기도 한다. 일반적인 안테나는 경도가 있는 고체 형태이며 인체 및 직물의 유동적인 형태변화에 적용하기 어렵다. 이에 따라 유연성을 가진 인쇄 회로 기판을 이용하여 인체 및 직물 표면에 부착하여 사용할 수 있는 안테나 시스템을 설계한다. 또한 인체에 부착되었을 때 인체에 미치는 전자파의 영향을 최소화 할 수 있는 설계 방법을 연구한다.



스마트 의류, 웨어러블 컴퓨터와 인체·직물형 안테나

## 2. 활용성 및 기대효과

설계한 안테나 시스템은 인체나 직물과 같은 불규칙한 표면에도 적용할 수 있는 형태로 설계되었으며, 인체에 대한 전자파 영향을 감소시킬 수 있는 기법을 적용하였다. 이에 따라 최근 급속도로 성장하고 있는 웨어러블 컴퓨터나 스마트 의류 등에 포함되는 통신시스템 설계 시 폭 넓게 활용될 수 있을 것이라 기대된다.



다층 차폐표면을 이용한 안테나의 전자파 영향 저감

※Seungman Hong, Seok Hyon Kang, Youngsung Kim, Chang Won Jung "Transparent and Flexible Antenna for Wearable Glasses Applications", IEEE TRANSACTIONS ON ANTENNAS AND PROPAGATION, VOL. 64, NO. 7, JULY 2016

## II. 과제내용 및 제작과정

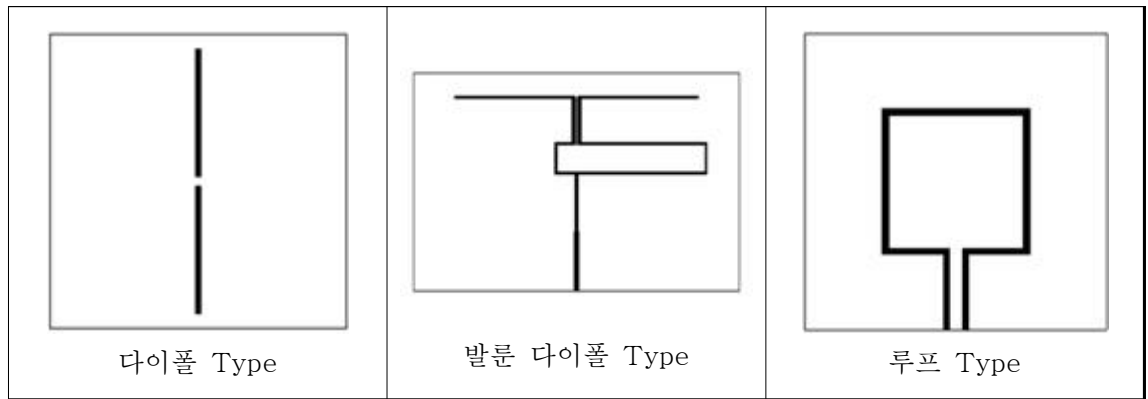
### 1. 과제내용

- 가. 인체 또는 직물과 같은 불규칙한 형태에 적응성을 갖도록 형태가 자유로운 연성기판(FPCB)를 이용하여 안테나를 설계하였다. 목표주파수는 ISM Band(Industry Science and Medical Band)중 하나에 속하는 2.4GHz 대역으로, 블루투스, Wi-Fi 주파수 등이 이에 속한다.
- 나. 안테나 시스템 설계 시 다양한 플랫폼에 적용할 수 있도록 3가지 방사체를 각각 설계하였다.
- 다. 인체 전자파 영향 감소 및 공진주파수 천이에 대한 강건성을 가지도록 하기 위하여 AMC(Artificial Magnetic Conductor, 인공 자기 도체)를 설계하였고, 이를 안테나 방사체와 일체형으로 결합하였다.
- 라. 인공 자기 도체와 안테나를 전자기 시뮬레이션을 통해 성능을 조정하고, 여러 가지 케이스에 대해 측정함으로써 특성을 검증하였다.

### 2. 제작과정

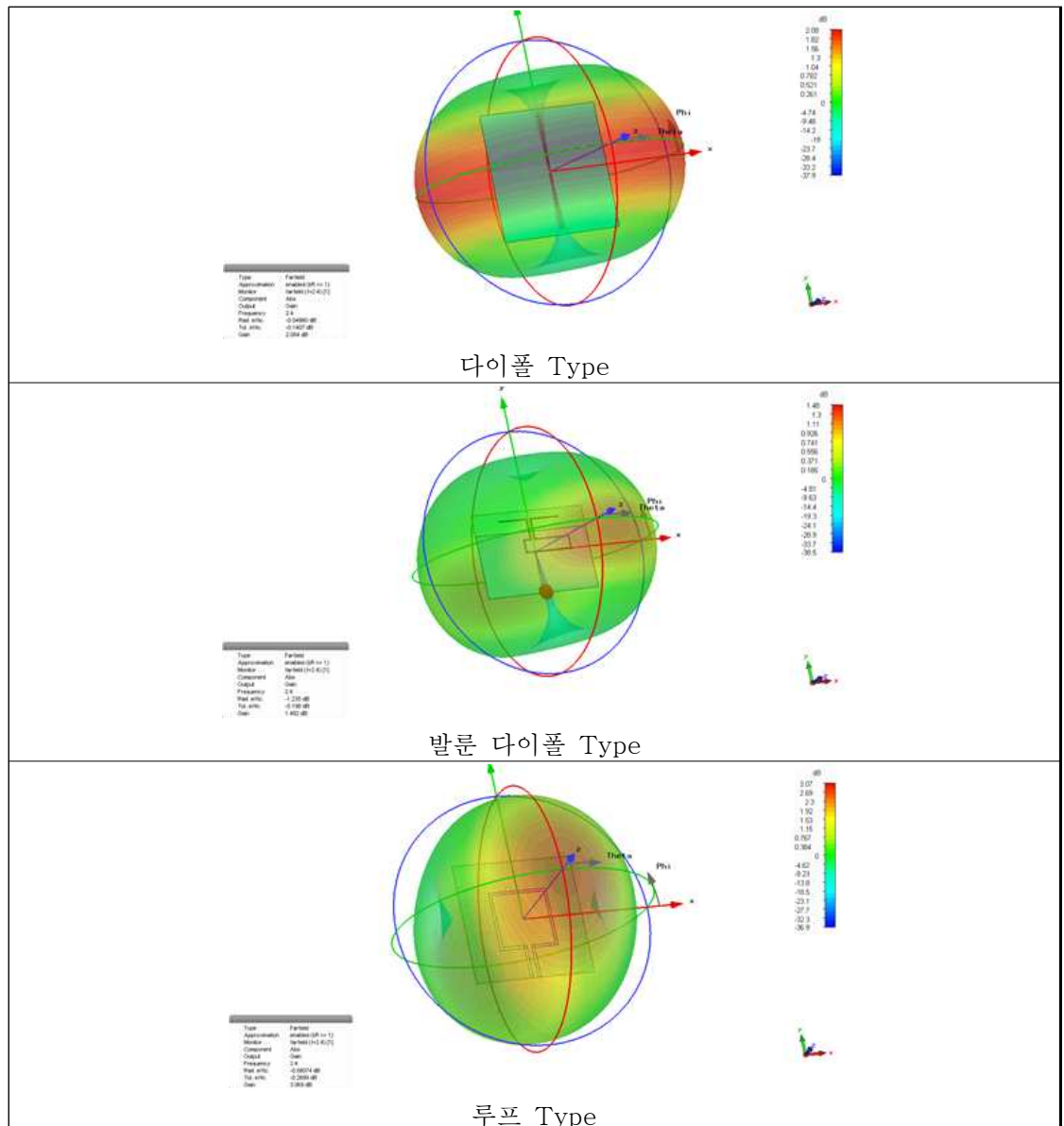
#### 가. 안테나 방사체의 설계

- 1) 안테나는 유전체 기판에 방사체의 형태를 프린팅 하는 방법으로 설계할 수 있다. 기존의 안테나들은 일반적으로 일정 수준 이상의 경도를 가지는 유전체 기판을 사용하나 본 과제에서는 Polyimide재질의 연성기판(FPCB, Flexible Printed Circuit Board)에 안테나 방사체를 프린트하는 방법으로 설계하였다. 안테나 설계의 사용된 FPCB 기판의 정보는 유전율 3.15, 두께 0.1mm, tangent loss 0.015 이다. 안테나 기본 방사체는 3가지 타입을 선정하였으며, 각각 다이폴, 발룬 다이폴, 루프 안테나 타입의 방사체를 설계하였다.



3가지 방사체 구조

안테나의 동작 주파수는 2.4GHz로 설정하였으며 3가지 타입의 안테나는 각각 다른 방사패턴을 가지게 된다. 따라서 사용 용도와 어플리케이션에 따라 다양하게 안테나 타입을 적용할 수 있게 되었다.



3가지 타입 안테나의 방사패턴

## 나. 전자파 흡수율 및 자기도체-안테나 결합

- 1) 안테나가 인체에 적용 되었을 때 전자파 흡수율을 SAR(Specific Absorption Rate)라고 부르며 이는 전자파가 인체에 흡수되는 에너지의 양을 나타내는 단위이다.(단위:W/kg) 전자파 흡수율은 주로 무선주파수 대역에서 노출원과 피노출체간의 정량화를 위한 것이다. 이것의 물리적 정의는 아래 식과 같이 주어진 밀도( $\rho$ )인 체적분( $dV$ ) 내의 질량 증분( $dm$ ) 내에서 소실된(또는 흡수된) 에너지 증분( $dW$ )의 시간 미분 값이다.

$$SAR = \frac{d}{dt} \left( \frac{dW}{dm} \right) = \frac{d}{dt} \left[ \frac{dW}{\rho(dV)} \right]$$

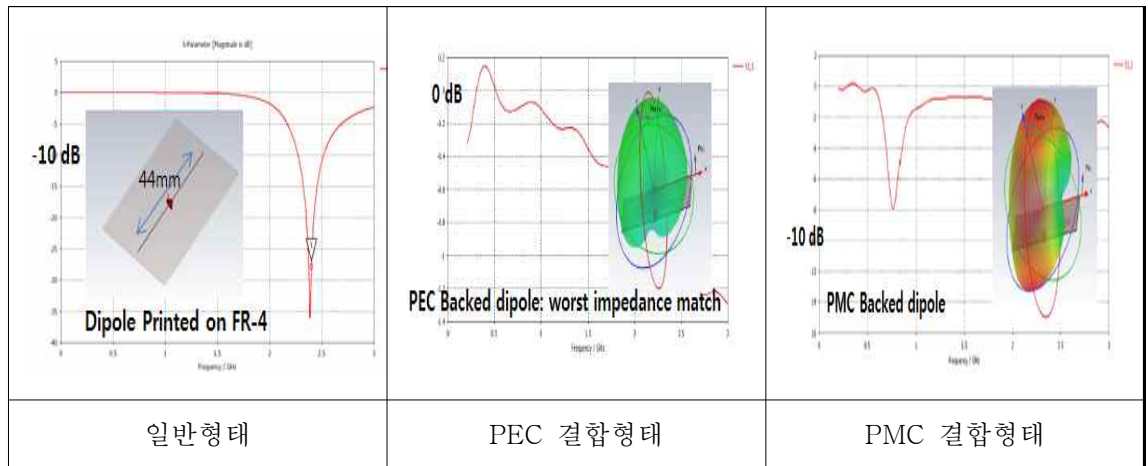
표는 각국 또는 기관의 휴대전화의 노출기준(일반인에 대한 SAR)을 나타낸 표이다.

단위 : W/kg

| 기관 또는 국가           | 대한민국 | ICNIRP | CENELEC | 미국 FCC | 일본  |
|--------------------|------|--------|---------|--------|-----|
| SAR 기준치            | 1.6  | 2      | 2       | 1.6    | 2   |
| SAR 산출을 위한<br>조직무게 | 1g   | 10g    | 10g     | 1g     | 10g |

국가 또는 기관의 휴대전화 노출(SAR)기준

- 2) 인체에 적용했을 때 SAR 저감율과 주파수 천이율을 감소시키기 위한 구조로 인공 자기 도체와 안테나 방사체를 결합하기에 앞서 PEC(완전도체)와 PMC(완전자기도체)가 다이폴 안테나 뒷면에 부착 되었을 때 안테나 임피던스 정합 특성을 확인하였다.

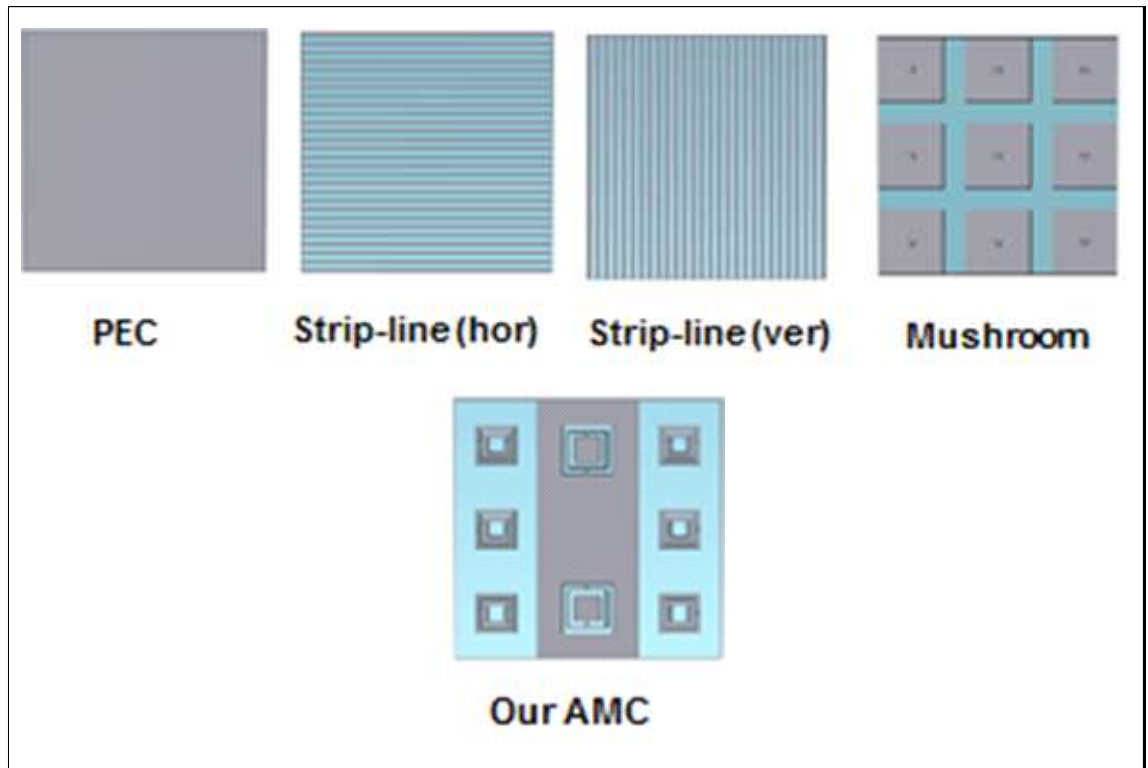


PEC와 PMC 결합시 임피던스 정합 특성

임피던스 정합 특성을 확인 한 결과 PEC가 뒷면에 있을 때는 목표주파수인 2.4GHz에서 임피던스 정합이 크게 어긋났으나, PMC가 뒷면에 있을 때는 임피던스 정합상태가 유지됨을 확인할 수 있었다.

다. AMC(Artificial Magnetic Conductor, 인공자기도체) 설계

- 1) 일반적인 전도체(electric conductor) 표면에서는 반사계수의 위상값이 180도의 상수인 것과 달리, 인공자기도체 표면에서의 반사계수 위상은 주파수에 따라 180도에서 -180도까지 연속으로 변하며, 공진 주파수에서는 0도의 반사계수 위상 값을 가져 자기 도체의 특성을 나타낸다. 또한 이 때 반사계수의 크기는 1이 된다.
- 2) 기존 인공 자기 도체 표면 구조는 Strip-line 형태 또는 버섯구조 형태가 많이 사용되었다. 본 과제에서 제안하는 인공 자기 도체는 SRR(Split Ring Resonator)과 CSRR(Complementary Split Ring Resonator) 구조를 배치한 표면으로 구성되어 있다. SRR과 CSRR의 금속 링은 링의 전류회전을 유도하고, 이러한 현상은 스스로의 자속을 집중시켜 투자율을 향상시키는 효과가 나타나게 된다.

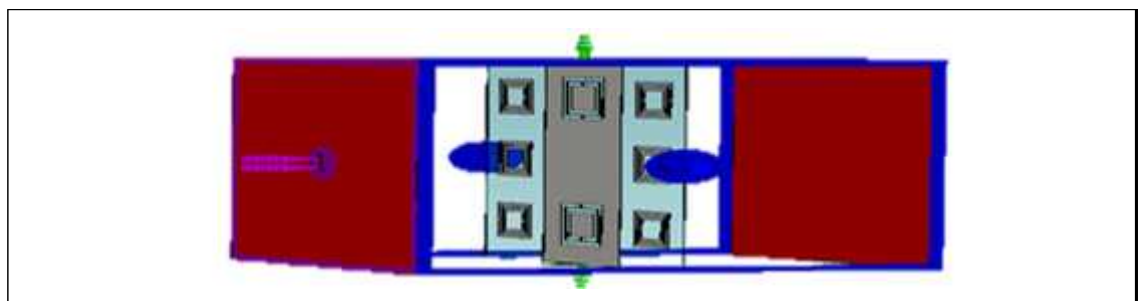


기존 AMC 구조와 제안하는 AMC 구조

목표주파수 2.4GHz에서 동작하는 인공 자기 도체를 설계는 아래 표와 같은 특성을 얻기 위하여 3차원 전자기 시뮬레이터를 이용해 평면파 테스트로 진행하여 최적화하였다.

| Items                                          | Specifications     | Comments     |
|------------------------------------------------|--------------------|--------------|
| Frequency                                      | 2.4 GHz            | WBAN         |
| $  \Gamma  $ of Plane-wave incident            | 1 @ 2.4 GHz        | AMC Property |
| $\angle \Gamma$ (Phase) of Plane-wave incident | 0 degree @ 2.4 GHz | AMC Property |

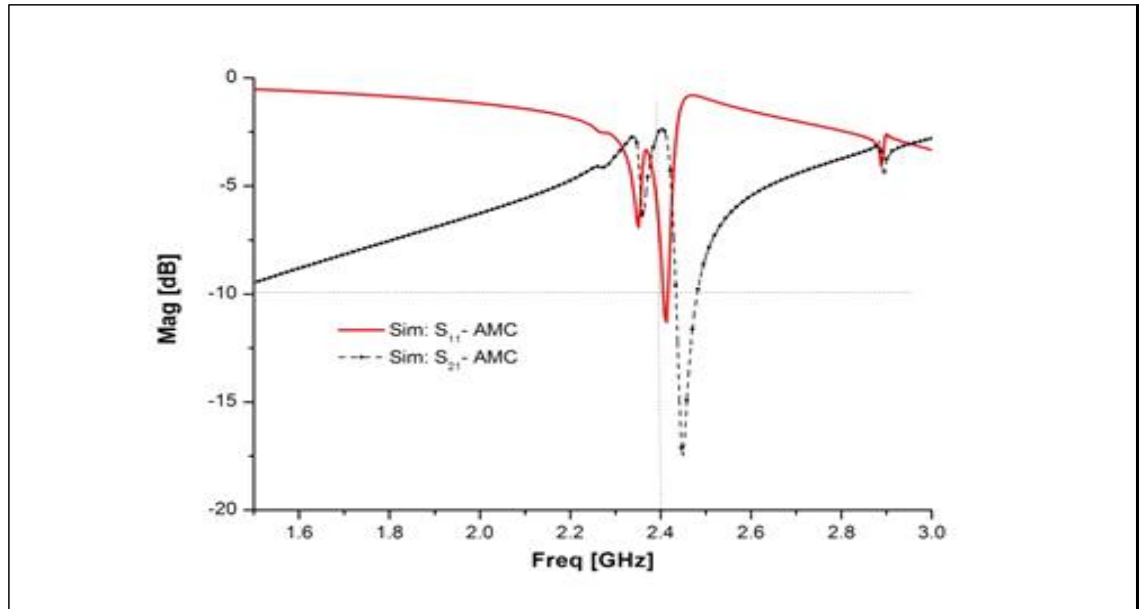
인공 자기 도체 평면파 테스트 요구사항



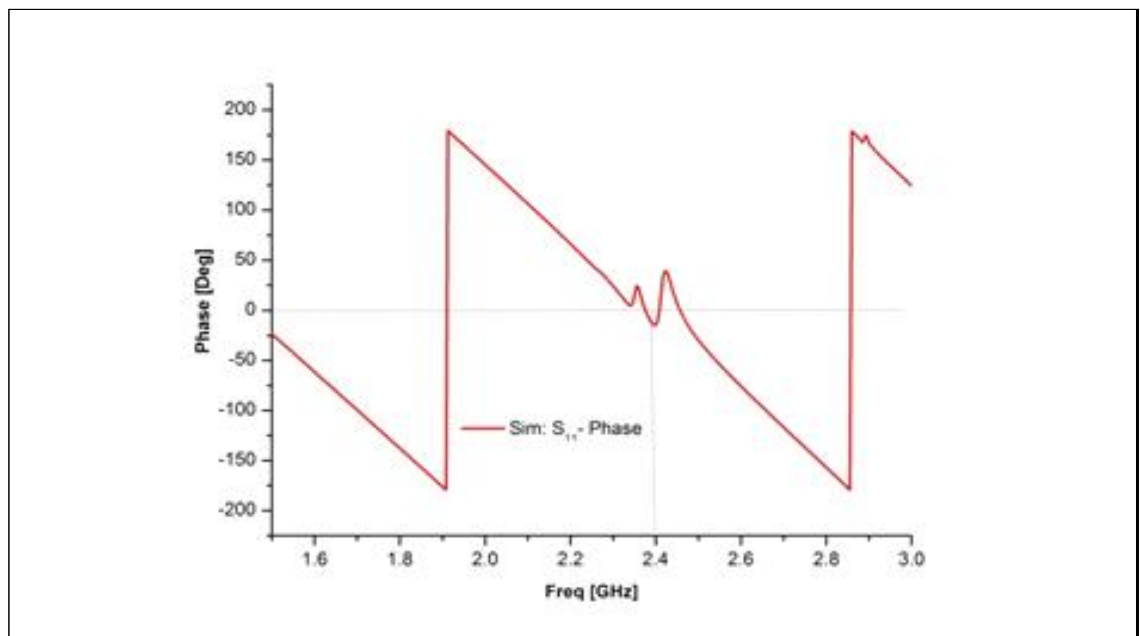
인공 자기 도체 평면파 테스트 환경



3차원 전자기 시뮬레이터를 활용 최적화 작업을 통해 그래프 결과와 같이 목표주파수 2.4GHz에서 반사계수 크기  $|\Gamma|=1$ , 위상 $=0^\circ$ 을 만족시켰다.



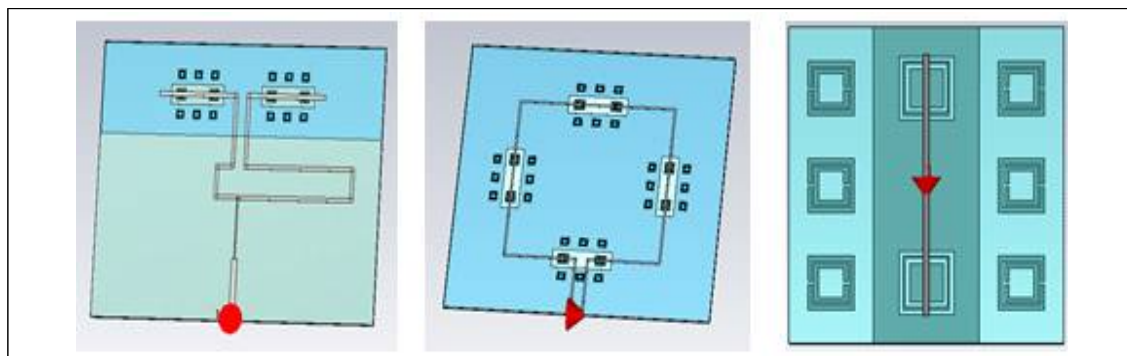
인공 자기 도체 평면파 모의시험 결과 반사계수 크기



인공 자기 도체 평면파 모의시험 결과 반사계수 위상응답

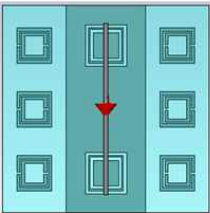
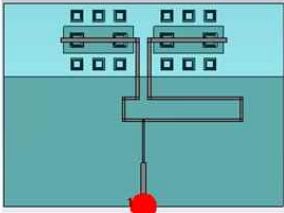
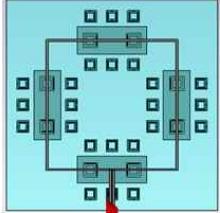
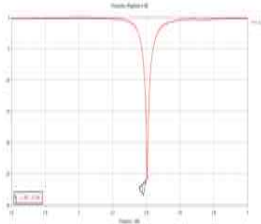
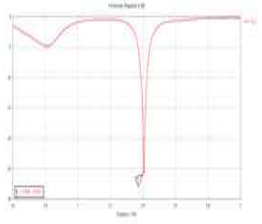
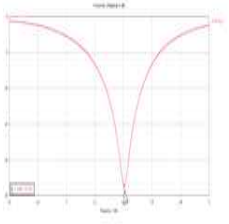
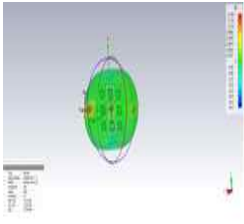
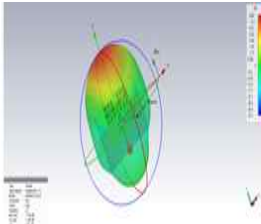
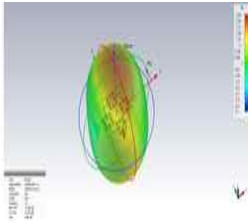
라. AMC-안테나 결합설계

- 1) 위와 같이 설계된 안테나와 인공 자기 도체를 결합시켜 전자기 해석을 진행하였다. 3가지 타입 안테나에 대해 방사체가 있는 영역 뒷면으로 AMC를 배치하였으며 적용된 안테나 타입에 맞도록 AMC 컴포넌트를 각각 최적화 하였다.



AMC-안테나 결합

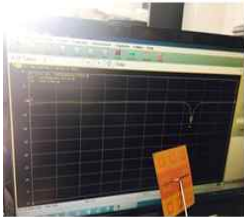
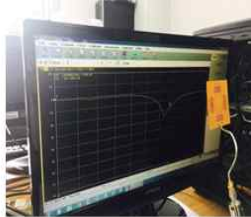
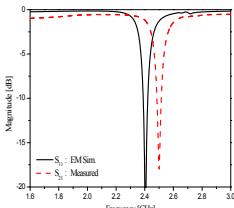
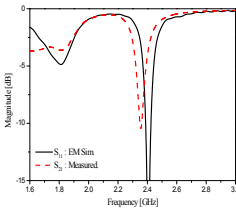
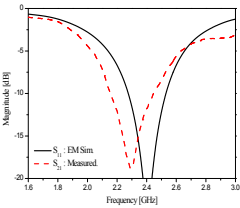
실험결과 3가지 타입 안테나 모두 2.4GHz에서 공진하였고 반사손실은 -20dB 이하로 매우 양호하였다. 또한 방사패턴에서 다이폴 안테나의 경우는 이득이 약 0.5dBi, 발룬 다이폴의 경우는 약 3dBi, 루프 안테나의 경우는 약 3dBi로 나타났다.

|                             |                                                                                     |                                                                                      |                                                                                       |
|-----------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|
| AMC + 안테나                   |   |   |   |
|                             | Dipole                                                                              | Balun Dipole                                                                         | Loop                                                                                  |
| 반사손실<br>(Return loss)       |  |  |  |
| 방사패턴<br>(Far field Pattern) |  |  |  |

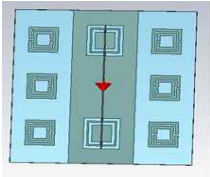
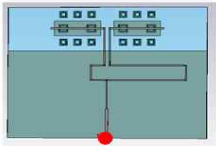
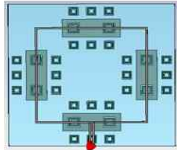
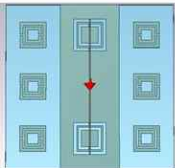
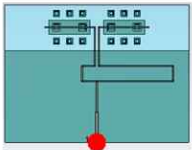
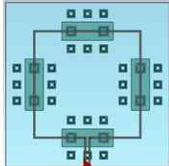
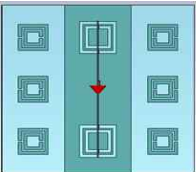
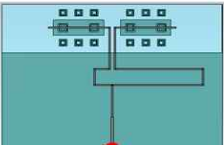
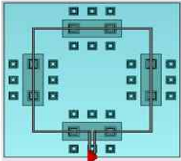
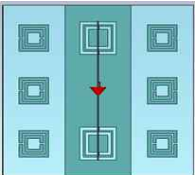
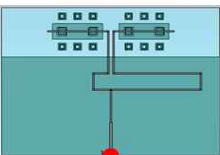
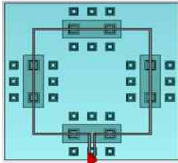
안테나 모의실험 결과

- 2) 설계와 모의실험을 거친 안테나를 실제 제작하여 VNA(Vector Network Analyzer)를 이용해 안테나의 공진특성을 확인하였다. 아래 표에 있는 반사손실 측정결과에서 붉은 점선은 실측결과, 검정 실선은 모의실험 결과이다. 실측

결과에서도 안테나는 목표주파수인 2.4GHz에서 공진하는 것을 알 수 있다. 그리고 두 결과를 비교했을 때 대략 50~100MHz 정도의 주파수 이격이 있지만 이는 케이블·커넥터 특성과 납땜 등 모의실험 외적인 요인에 의해 발생한 것으로 보여진다. 이러한 특성 차이를 보정하기 위해 약간의 크기를 조정한 몇가지 경우를 추가하여 제작하였다.

|                                               |                                                                                                 |                                                                                                        |                                                                                                 |
|-----------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <p>제작된 안테나 및<br/>실측 모습<br/>AMC + Antennas</p> |  <p>Dipole</p> |  <p>Balun Dipole</p> |  <p>Loop</p> |
| <p>Return loss<br/>실측 결과</p>                  |               |                     |             |

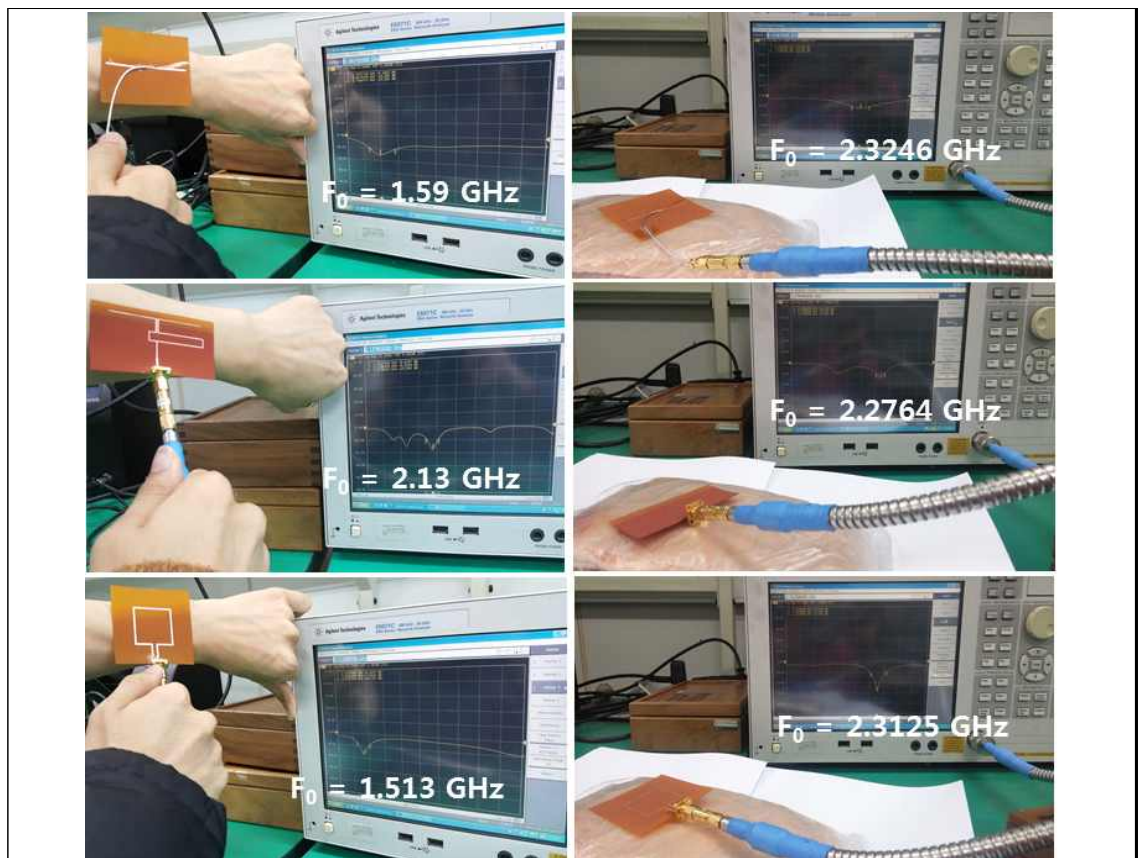
AMC-안테나 제작품 측정 결과

|                                                                                     |                                                                                     |                                                                                       |
|-------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|
|  |  |  |
|  |  |  |
|  |  |  |
|  |  |  |

AMC-안테나 제작품 측정 결과

## 마. 측정 실험 결과

- 1) 먼저, 제작한 안테나가 인체와 근접했을 경우의 성능 변화를 알아보기 위한 실험을 진행하였다. 일반적으로 그라운드면이 없는 안테나를 인체라는 고 유전체에 부착하였을 시, 유전체의 영향으로 안테나의 공진주파수가 이동하는 것을 쉽게 알 수 있다. 또한 사람마다 유전율이 조금씩 차이가 있고, 신체 부위마다 차이가 있어 정확한 주파수 이동을 측정하기는 어렵고 또한 정량화하기도 어렵다. 아래 사진에서 보는 것처럼 자유공간에서 측정한 안테나의 공진주파수 대비 인체에 접근을 시키면 공진주파수가 많이 이동하는 것을 볼 수 있다. 또한 측정의 기준을 정확히 하기 위해서 돼지껍질을 이용해 공진주파수 변화를 살펴보았다.



인체와 돼지껍질에서의 주파수 이동 비교

측정방법은 안테나와 돼지껍질 사이 간격을 변화시키면서 주파수 이동을 관찰하였다. 아래 표는 관찰결과를 정리한 표이며, 돼지껍질에 의해 공진주파수가 변화하였음을 알 수 있다.



| Antenna | Ref Ant<br>(자유공간) | Pig    |         |         |       |
|---------|-------------------|--------|---------|---------|-------|
|         |                   | 0 mm   | 5 mm    | 10 mm   | 20 mm |
| Dipole  | 2.36              | 2.3246 | 2.68242 | 2.654   | 2.654 |
| Balun   | 2.4573            | 2.2764 | 2.4573  | 2.46132 | 2.449 |
| Loop    | 2.5               | 2.3125 | 2.4372  | 2.4854  | 2.505 |

다음으로 AMC가 적용된 안테나를 대상으로 같은 실험 절차를 거쳐 결과를 얻었다.



AMC 다이폴 안테나 주파수 천이 측정



AMC 발룬 다이폴 안테나 주파수 천이 측정

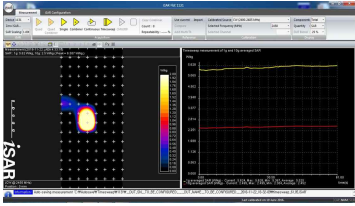
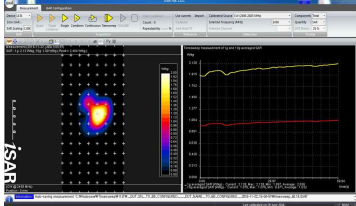
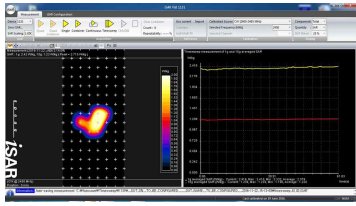


AMC 루프 안테나 주파수 천이 측정

아래 표는 관찰결과를 정리한 표이다. AMC 구조가 적용된 안테나의 경우 주파수 천이율이 2%미만으로 나타났으며, 루프안테나의 경우는 5% 이상이지만 튜닝을 통해 개선될 수 있을 것으로 보여진다.

| Antenna | Ref Ant<br>(자유공간) | Pig     |         |       |       |
|---------|-------------------|---------|---------|-------|-------|
|         |                   | 0 mm    | 5 mm    | 10 mm | 20 mm |
| Dipole  | 2.5216            | 2.33062 | 2.52564 | 2.521 | 2.521 |
| Balun   | 2.3728            | 2.0834  | 2.3568  | 2.364 | 2.364 |
| Loop    | 2.3085            | 1.7296  | 2.13972 | 2.187 | 2.187 |

- 2) 다음으로 제작된 안테나를 이용하여 전자파 흡수율(SAR)을 측정하였다. SAR 값 측정은 상용화된 장비(iSAR)를 이용하여 2.45GHz에서 10dBm의 파워를 입력 후 안테나에서 방사되는 전자파를 측정하였다. 다이폴 안테나의 경우 Peak=6.587W/kg, 발룬 다이폴 안테나의 경우 Peak=2.404W/kg, 루프 안테나의 경우 Peak= 2.715W/kg 값들이 측정 되었다.

|                                                                                   |                                                                                    |                                                                                     |
|-----------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|
|  |  |  |
| 다이폴 안테나                                                                           | 발룬 다이폴 안테나                                                                         | 루프 안테나                                                                              |

기준 안테나 SAR 측정

그리고 AMC를 적용한 안테나의 전자파 흡수율을 위와 같은 실험 절차를 거쳐 결과를 얻었다. 측정결과 50%최대 이상의 SAR 저감율을 확인 할 수 있었다.

| Antenna | SAR [W/Kg] |       |       |
|---------|------------|-------|-------|
|         | 5 mm       | 10 mm | 20 mm |
|         | Peak       | Peak  | Peak  |
| Dipole  | 0.635      | 0.225 | 0.098 |
| Balun   | 0.694      | 0.211 | 0.088 |
| Loop    | 1.234      | 0.609 | 0.214 |

### Ⅲ. 결론

#### 1. 과제수행결과

- 가. 본 과제는 인체에 및 식물에 적용가능한 안테나를 설계하였다. 인체 및 식물과 같은 불규칙한 형태에 적용하기 위해 얇은 FPCB(연성기판)에 안테나 방사체를 프린트하였다.
- 나. 안테나 방사체는 3가지 타입을 설계하였다. 설계한 3가지 안테나는 각각 다이폴, 발룬 다이폴, 루프 안테나 형태이며 목표주파수는 ISM Band중 하나에 속하는 2.4GHz로 설정하였다.
- 다. 인체 전자파 흡수율과 인체환경에서의 성능 유지를 위한 인공 자기 도체를 설계하였다. 설계한 인공 자기 도체 표면은 SRR과 CSRR을 배치한 구조로써 이또한 얇은 FPCB에 프린트 하는 방법으로 설계하였다.
- 라. 설계구조의 모의실험 및 측정결과 인체구조에 적용했을 때 2%미만의 주파수 천이율을 보여 성능 열화를 방지하는 기능을 확인하였다.
- 마. 인체 전자파 흡수율(SAR) 측정결과 일반 구조대비 50%이상의 SAR 저감율을 보이는 것을 확인하였다.
- 바. 따라서 본 과제를 통해 제안된 안테나 구조는 인체 및 식물용 안테나 시스템에 적용하기에 적합한 성질을 나타내며 향후 웨어러블 기기에 많이 활용될 것으로 기대된다.



웨어러블 디바이스에 활용 가능한 안테나



## 2. 문제점 및 개선방안

- 가. 안테나와 인공자기도체를 결합하였을 때 안테나의 방사효율이 다소 낮아지는 경향이 있으나 급격한 효율변화는 아니므로 안테나 시스템에 사용하기엔 충분할 것으로 판단된다.
- 나. 안테나의 전체적인 크기가 다소 큰 경향이 있으나, 크기를 줄일 수 있는 재료 물성변경과 공정기법, 특수한 설계기법 적용하면 크기 또한 줄일 수 있으며, 이에 추가적인 연구가 필요하다.



인천대학교 실전문제연구단 데모데이 참가



캡스톤디자인 연구 세미나



### 인체 및 직물 부착형 소형 안테나 시스템 설계

박희준 [ 인천대학교 ]

👁 1 💬 0 👍 0

공개여부 : 공개  
카테고리 : 전자, 정보  
등록일 : 2017-11-29  
팀원 (공동개발자) : 박민우, 서예준, 경준호, 유병하, 장인호  
출품작 : 2017-2학기 아이디어 '특목' 캡스톤디자인 산학연계팀 경진대회

[👍 좋아요](#)[✉ 연락하기](#)

[f](#)[🐦](#)[✉](#)[🖨](#)

#### 수행 목적

인체 및 직물의 표면은 주로 곡선 형태이며, 불규칙한 형태를 띠기도 한다. 일반적인 안테나는 경도가 있는 고체형태이며 인체 및 직물의 유동적인 형태변화에 적응하기 어렵다. 이에 따라 유연성을 가진 인쇄 회로 기판을 이용하여 인체 및 직물 표면에 부착하여 사용할 수 있는 안테나 시스템을 설계한다. 또한 인체에 부착되었을 때 인체에 미치는 전자파의 영향을 최소화 할 수 있는 설계 방법을 연구한다.

#### Contact Log

연락 이력이 없습니다.

캡스톤디자인 경진대회 등록